



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

Ley 20.304
**“Sobre Operación de embalses
frente a alertas y Emergencias de
crecidas y otras medidas que
indica.”**

**Definición de Embalse Ralco como
Embalse de Control**

**REALIZADO POR:
División de Estudios y Planificación**

S.D.T. N° 303

Santiago, Septiembre de 2010

ESTE TRABAJO FUE REALIZADO POR LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN, CON EL OBJETIVO DE EXPLICAR EN EL CONTEXTO DE LA LEY 20.304, LAS RAZONES TÉCNICAS QUE LLEVARON A DEFINIR AL EMBALSE RALCO, UBICADO EN LA REGIÓN DEL BIOBIO Y OPERADO POR ENDESA, COMO EMBALSE DE CONTROL.

Jefe División de Estudios y Planificación

Carlos Salazar M.

Profesionales participantes

Miguel Ángel Caro H

Carlos R. Naudon G.

1- INTRODUCCIÓN.	4
1.1- ASPECTOS GENERALES	4
1.2- UBICACIÓN DE EMBALSE.	4
1.3- ZONAS DE RIESGO	6
2- REVISIÓN DE ANTECEDENTES.	8
2.1- RED HIDROMÉTRICA UTILIZADA.	8
2.2- ZONAS VULNERABLES Y EVENTOS REGISTRADOS.	9
2.3- ÁREAS TRIBUTARIAS.	11
3- ANÁLISIS.	14
3.1- CAUDALES ASOCIADOS A CRECIDAS.	14
3.2- CURVAS DE DURACIÓN.	20
4- CONCLUSIONES.	22

1- INTRODUCCIÓN.

1.1- Aspectos Generales

Como primera etapa en la implementación de la presente ley, es necesario definir los embalses que cumplan con la característica de embalse de control. Es decir aquellos que mediante el control de los caudales de vertidos y del volumen de almacenamiento durante una crecida, sean capaces de presentar un efecto de regulación en los peaks del evento, con el objeto de mitigar parcial o totalmente los daños producidos aguas abajo por los desbordes del cauce, primordialmente en aquellas zonas previamente definidas como de riesgo.

Para la ejecución de esta etapa se ha identificado en una primera instancia, las zonas de riesgo afectadas por las crecidas aguas abajo del embalse Pangue, ubicado inmediatamente aguas abajo del embalse Ralco, para ello se han recopilando los antecedentes disponibles entregados tanto por la ONEMI como por otras instituciones, con el objeto de identificar en estas zonas, la fecha, magnitud y recurrencia de eventos en los casos que fue posible.

Simultáneamente se identificaron las estaciones fluviométricas y meteorológicas a cargo de la Dirección General de Aguas, que se consideraron relevantes para el análisis. Se revisaron los registros disponibles, identificando crecidas importantes contrastando las fechas de estas con las recopiladas en la revisión de antecedentes, con el objeto de comparar y obtener magnitudes de caudales característicos de eventos de crecidas y poder establecer además ciertos valores primarios de caudales umbrales en el embalse analizado.

Se construyeron las curvas de Duración para un punto de control del embalse y otros lugares que se consideró necesarios, con el objeto de establecer probabilidades de excedencia de las diferentes magnitudes de caudal consideradas. Conjuntamente se analizaron algunas crecidas a partir de registros históricos obtenidos en el embalse.

1.2- Ubicación de Embalse.

El presente informe aborda el análisis del embalse Ralco como embalse de control, el embalse Ralco corresponde a un embalse de cabecera ubicado en la parte alta de la cuenca del río Biobío, VIII región, antes de la junta con río Grande, la cuenca aportante se caracteriza por tener un marcado aporte pluvial con aportes nivales de menor magnitud y un área aportante del orden de los 5400 km²

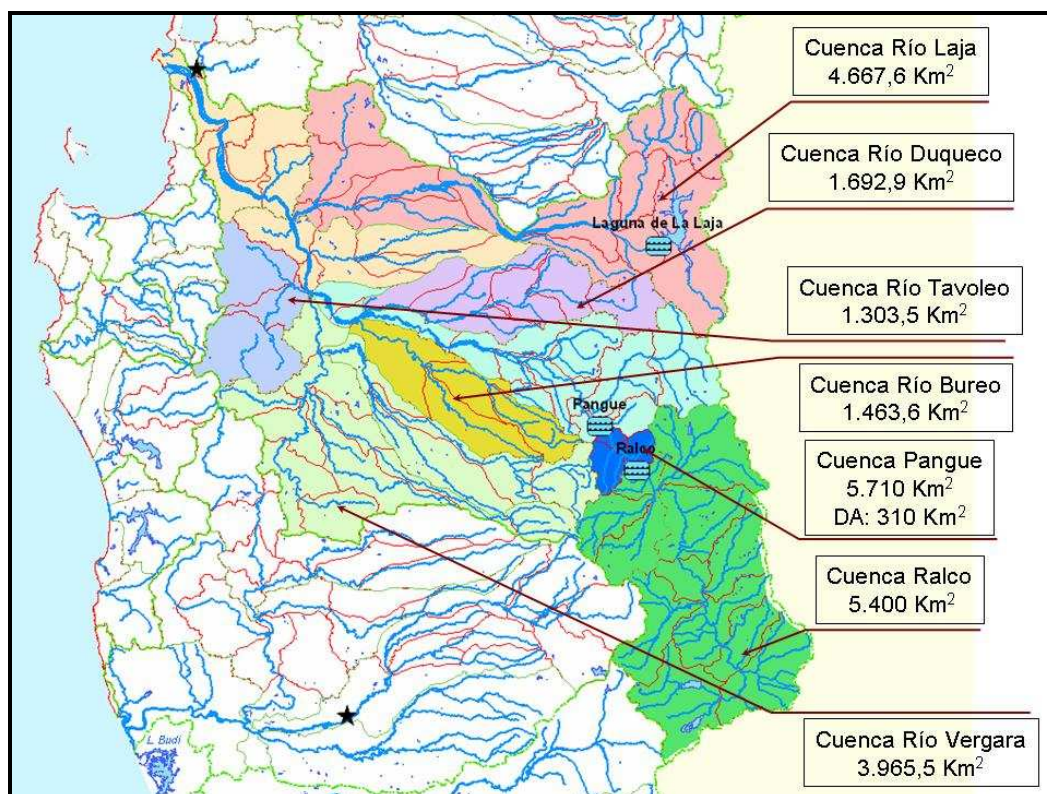
La cuenca del río Biobío se caracteriza por un área tributaria total de 24.643.6 Km², conformada en conjunto con sus ríos tributarios: Laja, Duqueco, Bureo, Tavoleo y Vergara.

Es importante destacar que inmediatamente aguas abajo de Ralco, se encuentra el embalse Pangué con un área tributaria de 5710 km², dada la distribución que presentan ambos embalses en el río, el área tributaria efectiva de Pangué corresponde a 310 km², ya que la diferencia corresponde al área tributaria a Ralco, la que es regulada por este último.

Dada la diferencia de magnitud en áreas aportantes (1:17), no se considera a Pangué como embalse de control, ya que básicamente actúa como espejo de las fluctuaciones de caudales producidas en Ralco y su capacidad de regulación es comparativamente pequeña.

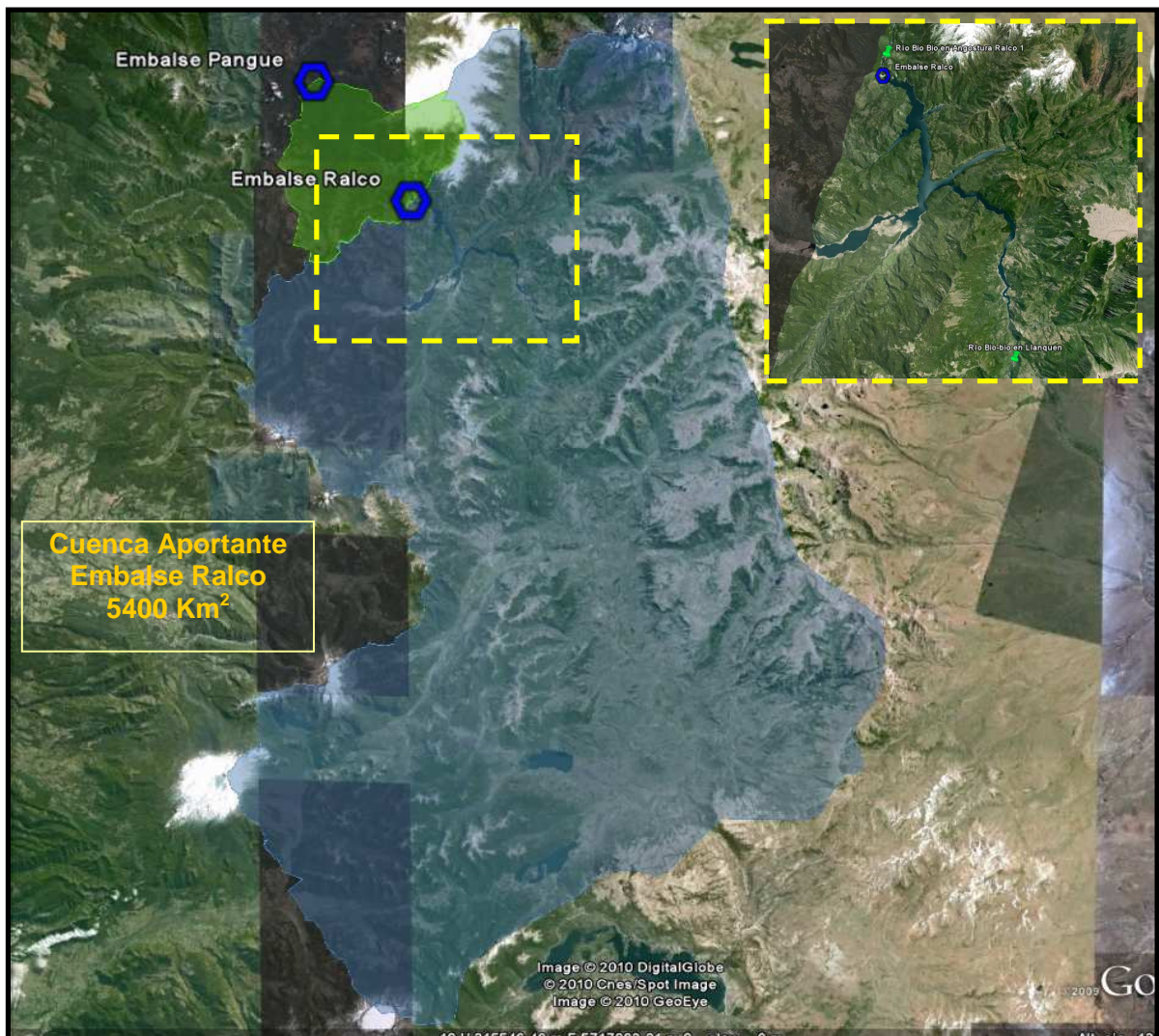
En la Figura N°-1 se indica la ubicación general de los embalses Pangué y Ralco, dentro de la cuenca del río Biobío, conjuntamente se indican las áreas tributarias de ambos embalses y los ríos afluentes al Biobío.

Figura N°-1: Mapa Región del Bio Bio, Ubicación Embalses Pangué, Ralco y cuencas aportantes tributarias al río Biobío.



En la Figura N°-2 se muestra a través de una fotografía aérea, la ubicación general de los embalses Pangué y Ralco, dentro de la cuenca alta del río Biobío, conjuntamente se han delimitados las áreas afluentes de ambos embalse y se ha ampliado la zona del embalse Ralco con el fin de apreciar su distribución espacial .

Figura N°-2: Cuencas aportantes embalses Pangué y Ralco, configuración embalse Ralco



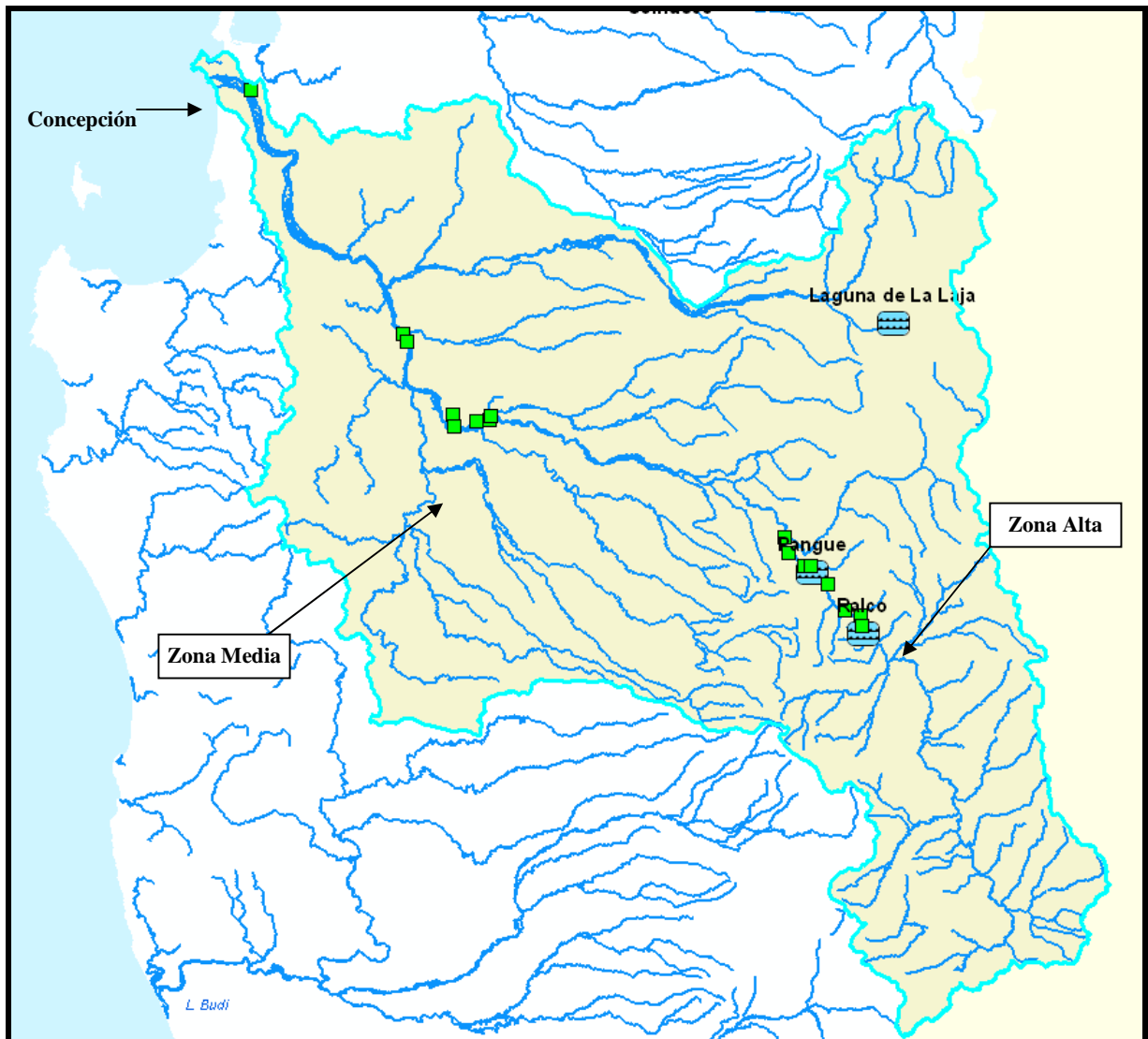
1.3- Zonas de Riesgo

Se considera la cortina del embalse Pangué como punto de inicio para el análisis de zonas de riesgo o afección a crecidas del embalse Ralco, ya que si bien Ralco corresponde al embalse que controlaría la crecida, los daños por crecidas ocurren en las comunidades

ubicadas aguas abajo de Pangué, existiendo un par de zonas de afección entre ambos, así se podría hablar del sistema de control Ralco-Pangué propiamente tal.

En la Figura N°-3 se indica la ubicación general de los embalses Pangué y Ralco en conjunto con los diferentes puntos o zonas de riesgo identificados.

Figura N°-3: Mapa Región del Biobío, Ubicación Embalses Pangué, Ralco y Zonas de Riesgo.



■ Zonas de Riesgo

Zona :

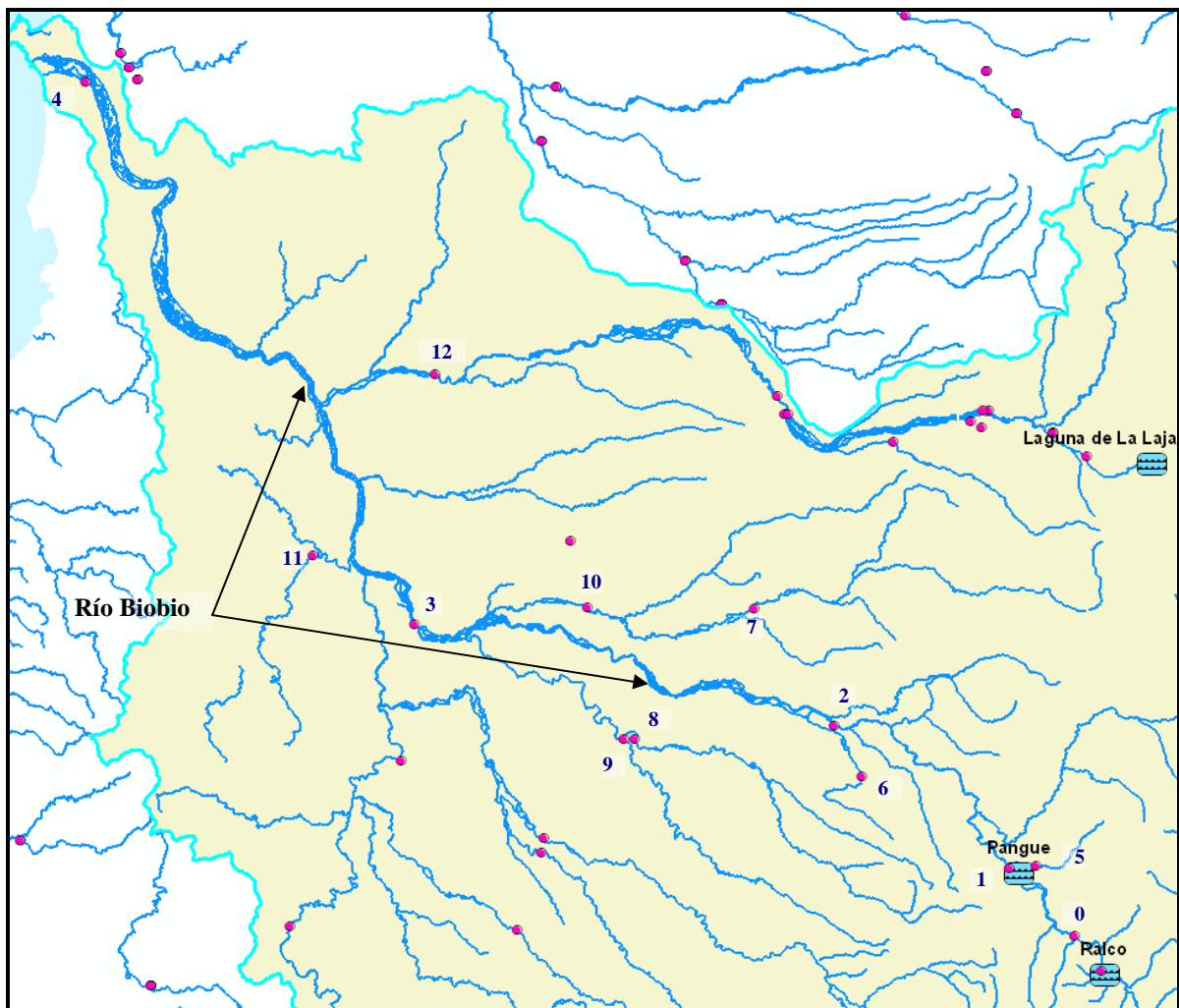
Corresponde a la caracterización de lugares de riesgo de acuerdo a la zona de la cuenca en que se ubiquen, son tres: Alta o Montañosa, media o central y baja o Costera.

2- REVISIÓN DE ANTECEDENTES.

2.1- Red Hidrométrica Utilizada.

Se revisaron las estaciones distribuidas en la cuenca del río Biobío, de las cuales se escogieron aquellas que se encontraban a lo largo del río Biobío propiamente tal, aguas abajo del embalse Pangué, y algunas de ciertos ríos tributarios que se consideró determinantes para el análisis. Las estaciones escogidas se encuentran indicadas en la figura N°-4. y en el cuadro N°-1, en este mismo cuadro se presentan la longitud de caudales medios diarios registrada en las estaciones mencionadas.

Figura N°-4: Mapa Región del Bio Bio, Ubicación red hidrométrica, estaciones fluviométricas.



● : Estaciones Fluviométricas

Cuadro N°-1:

Red hidrometrica cuenca rio Bio Bio y Periodo de Registro Disponible

N° Est.	Codigo BNA	Nombre Estación	Año Inicio Registro	Año Termino Registro	Años Completos	Años Parciales	Total Años Registros
0	08312001-0	Rio Bio Bio Antes de Junta Huiiri Huiiri	01/01/2003	31/12/2008	6	0	6
1	08313001-6	Rio Bio Bio Antes de Junta Pangué	01/12/2002	31/07/2008	4	2	6
2	08317001-8	Rio Bio Bio en Rucalhue	01/06/1937	31/10/2008	57	12	69
3	08334001-0	Rio Bio Bio en Coihue	01/12/1928	30/04/2008	11	12	23
4	08394001-8	Rio Bio Bio en Desembocadura	01/01/1970	31/10/2008	25	9	34
5	08313000-8	Rio Pangué en Captación	01/01/2003	31/01/2008	2	5	7
6	08317002-6	Rio Lirquen en Cerro el Padre	01/01/1943	30/04/2008	55	11	66
7	08323002-9	Rio Duqueco en Villucura	01/01/1941	31/12/2008	47	21	68
8	08332001-K	Rio Bureo en Mulchen	01/06/1929	30/04/2008	42	30	72
9	08330001-9	Rio Mulchen en Mulchen	01/04/1937	31/07/2009	41	27	68
10	08323001-0	Rio Duqueco en Cerrillos	01/07/1962	30/04/2008	17	29	46
11	08362001-3	Rio Nicodahue en Pichun	01/04/1988	31/05/2008	6	15	21
12	08383001-8	Rio Laja en Puente Perales	01/09/1957	31/10/2008	35	15	50

2.2- Zonas Vulnerables y Eventos registrados.

En base a los antecedentes recopilados, se identificaron ciertas zonas vulnerables o de riesgo a lo largo del Biobio, identificando las fechas de las crecidas en esos puntos. En esta etapa se reviso la información para todos los puntos, sin discriminar a priori aquellos que por su lejanía al embalse Pangué y Ralco se consideran afectados primariamente a los aportes de la cuenca intermedia, más que al caudal que puedan controlar los embalses.

El cuadro N°-2 presentado a continuación, corresponde a una Matriz de eventos registrados en las zonas de riesgo, la información indicada fue obtenida a partir de registros entregados por la ONEMI, en base del control que lleva esta institución en las emergencias. Lamentablemente los registros revisados no contaban con mucha información sobre fechas y eventos, lo que hubiera permitido tener una mayor valides en la recurrencia de los eventos de crecida.

El análisis de la información y los criterios considerados para la posterior determinación del caudal umbral se indican en el capítulo 3. Conjuntamente con la información entregada por la ONEMI, se contó con algunos registros entregados por la DGA de la Región del Biobio.

**Cuadro N°-2:
Matriz Zonas de Riesgo y Eventos asociados**

n°	Zona Afectada		Fecha Evento	Evento Asociado	Acciones de Mitigación Propuestas / Realizadas
	Sector	Comuna			
1	Población Isla de Duqueco	Los Angeles	Bio Bio	11/07/2006	Corte de Caminos, destrucción de puentes menores. Interrupción de A.Potable
2	Población Nesamávida	Los Angeles	Bio Bio	11/07/2006	Corte de caminos, destrucción de puentes menores, corte de suministro eléctrico
3	Población Duqueco Cuel	Los Angeles	Bio Bio	11/07/2006	Evento Hidrometeorológico, Corte de caminos principales, destrucción de puentes menores y pozos contaminados producto de inundaciones generales. Corte de suministro eléctrico
4	Población La Suerte	Los Angeles	Bio Bio	Invierno-2005	Caminos cortados, puentes menores y viviendas destruidas. Corte de suministro eléctrico, muerte de 9 personas por los eventos
5	Población El Chequén	Los Angeles	Bio Bio	Julio - 2006	Viviendas y puentes menores destruidos, caminos cortados. Corte suministro de electricidad, paso de F.F.C.C.
6	Sector Rural Millepoa Diuquín: Poblaciones el progreso entre ríos calle lastra bajo, villa las araucarias. Pob. Millepoa Diuquín	Nacimiento	Bio Bio	11/07/2006	Corte de ruta de la madera 50 cms. por deslizamientos y agua. Suministro eléctrico, servicio agua potable y alcantarillado por tres días.
7	Población Santa Luisa	Nacimiento	Bio Bio	11/07/2006	Un puente madera resultado dañado producto de la crecida, corte de suministro eléctrico
8	Orillas Río Bio-Bio desde Proyección calle Sanders a Puente Juan Pablo II	Concepción	Bio Bio	12/07/2006	Inundación que se produjo por la altura del río, lo que impedía evacuar las aguas lluvias y además entraban aguas por los sistemas de drenajes. Se colapsaron los alcantarillados de aguas servidas.
9	Comunidad Pehuenche Pangue	Alto Bio Bio	Bio Bio	11/07/2006	Creceda Río Pangue
10	Comunidad Pehuenche Callaqui	Alto Bio Bio	Bio Bio	-	Sin Eventos

De acuerdo con antecedentes entregados por el departamento de la Dirección General de Aguas de la Región del Biobío, se observaron las siguientes crecidas que registraron daños en algunas zonas aguas debajo de las estaciones indicadas:

Cuadro N°-3: Fechas de Crecidas Río Bio Bio

Estación	Fecha Evento	Evento Asociado
Rio Bio Bio en Desembocadura	27 / Junio / 1981	Desborde de riberas aguas abajo
Rio Bio Bio en Desembocadura	10 / Sept. /1990 11 / Sept /1990	Desborde de riberas aguas abajo
Rio Bio Bio en Rucalhue Rio Bio Bio en Desembocadura	28/ Mayo / 1991 29 / Mayo / 1991	Desborde Laja, Hualqui
Rio Bio Bio en Rucalhue	31 / Mayo / 1992	Desborde de riberas aguas abajo
Rio Bio Bio en Rucalhue	30 / Junio / 2000	Desborde de riberas aguas abajo
Rio Bio Bio en Rucalhue	03 / Julio /2001	Inundación Hualqui, Santa Barbara en sectores ribereños.

2.3- Áreas Tributarias.

Se determinaron las áreas tributarias para las estaciones escogidas y las zonas de riesgo identificadas, valores requeridos en el análisis del capítulo 3.0, ello con el objeto de poder realizar transposición de caudales y comparaciones entre zonas cuando se lo requiriese.

En los cuadros N°-4 y N°-5 se presentan los valores de áreas característicos de las estaciones y las zonas de riesgo por separado.

Cuadro N°-4: Áreas Tributarias red hidrométrica, Cuenca río Bio Bio.

N° Est.	Codigo BNA	Nombre Estación	Área Aportante Km ²
0	08312001-0	Rio Bio Bio Antes de Junta Huiru Huiru	5400,00
1	08313001-6	Rio Bio Bio Antes de Junta Pangue	5710,00
2	08317001-8	Rio Bio Bio en Rucalhue	6690,55
3	08334001-0	Rio Bio Bio en Coihue	10607,26
4	08394001-8	Rio Bio Bio en Desembocadura	23893,43
5	08313000-8	Rio Pangue en Captación	140,49
6	08317002-6	Rio Lirquen en Cerro el Padre	96,19
7	08323002-9	Rio Duqueco en Villucura	915,52
8	08332001-K	Rio Bureo en Mulchen	561,12
9	08330001-9	Rio Mulchen en Mulchen	418,77
10	08323001-0	Rio Duqueco en Cerrillos	1470,07
11	08362001-3	Rio Nicodahue en Pichun	833,67
12	08383001-8	Rio Laja en Puente Perales	3832,66

Cuadro N°-5: Áreas Tributarias Zonas de Riesgo, Cuenca río Bio Bio.

ZONA RIESGO	Puntos Afección	Área [km ²]	ZONA RIESGO	Puntos Afección	Área [km ²]
A	Comunidad Pehuenche Pangué (Encausamiento)	157	G	Poblacion Nesamávida	9084
B	Comunidad Pehuenche Pangué	5595	H	Población El Chequén	10547
C	Comunidad Pehuenche Callaqui	5653	I	Población La Suerte	10547
D	Comunidad Pehuenche Callaqui-Final	6103	J	Población Santa Luisa	16421
E	Población Duqueco Cuel	7373	K	Sector Rural Millapoa Diuquín: Poblaciones el progreso entre ríos calle lastra bajo, villa las araucarias. Pob. Millapoa Diuquín	17427
F	Población Isla de Duqueco	7373	L	Orillas Rio Bio-Bio desde Proyección calle Sanders a Puente Juan Pablo II	23893

Figura N°-3: Mapa Región del Bio Bio, Ubicación Sectores de Riesgo, Zona Alta

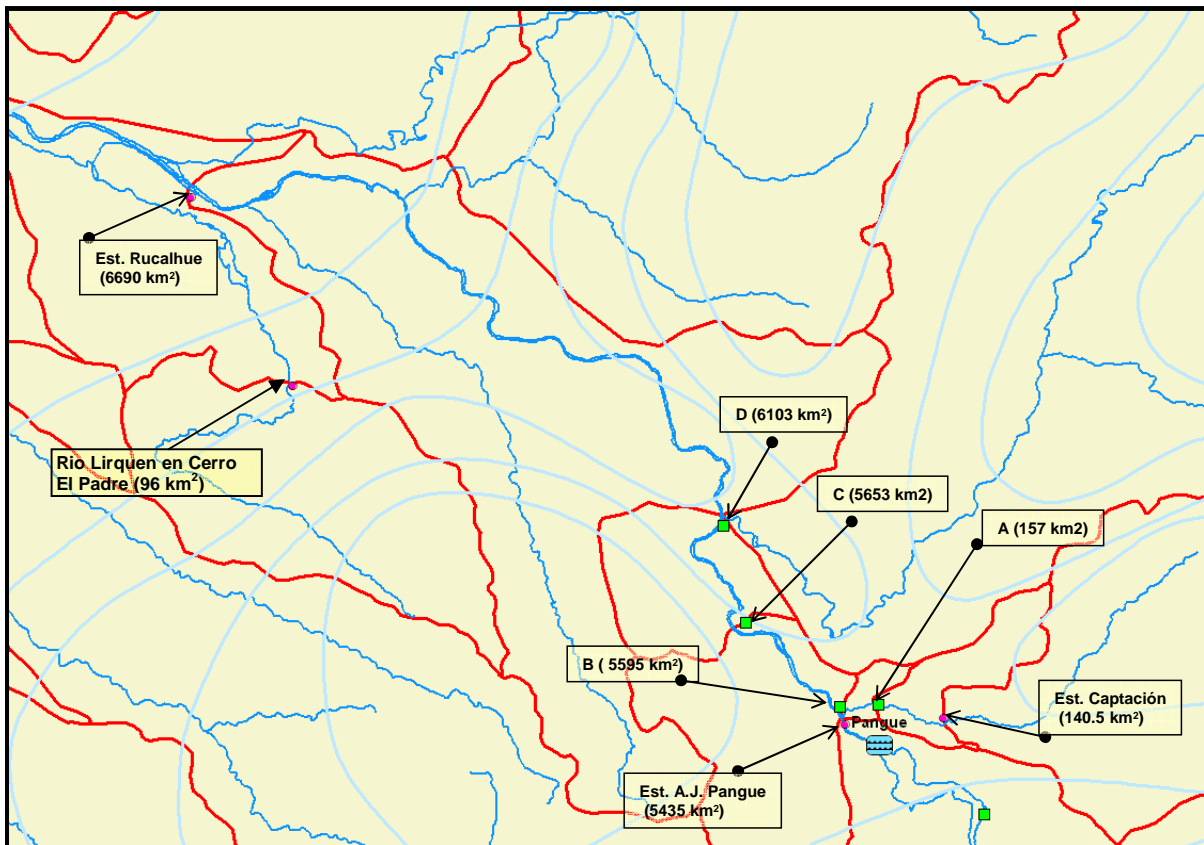


Figura N°-4: Mapa Región del Bio Bio, Ubicación Sectores de Riesgo, Zona Media

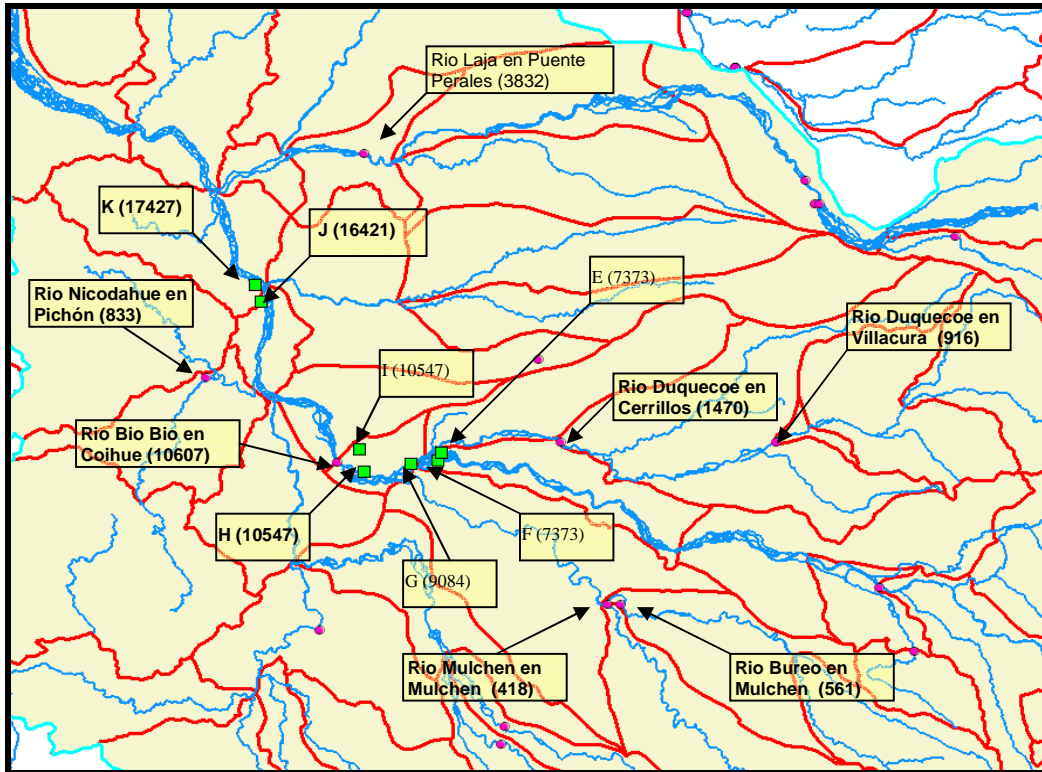
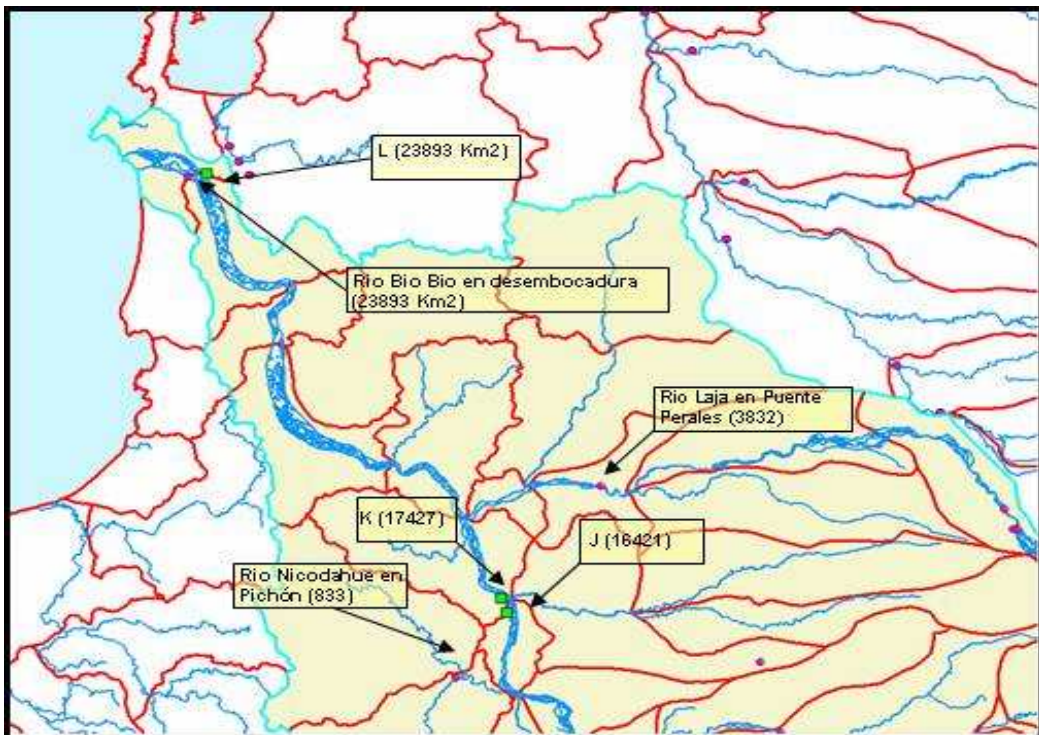


Figura N°-5: Mapa Región del Bio Bio, Ubicación Sectores de Riesgo, Zona Baja



3- ANÁLISIS.

3.1- Caudales Asociados a crecidas.

Se revisaron los registros de caudales en las estaciones: Río Biobio Ante Junta Pangué, en Rucalhue, Coihue y Desembocadura, de acuerdo con el análisis de antecedentes presentado en el acápite 2.2, tabla N°-2, la tormenta desarrollada en los días 11 y 12 de julio del año 2006, corresponde a la mayor registrada en el periodo 2003-2008 concurrente para estas 4 estaciones, presentándose múltiples zonas afectadas por el desborde del cauce, las magnitudes de caudal asociadas a este evento son las indicadas en el cuadro N°-6.

Cuadro N°-6: Caudales Medios Diarios, Tormenta 11-12 Julio 2006

Estación	Caudal [m ³ /s]	Día
Rio Bio Bio Ante junta Pangué	2412	11/07/2006
Rio Bio Bio en Rucalhue	5589	11/07/2006
Rio Bio Bio en Coihue	6668	12/07/2006
Rio Bio Bio en Desembocadura	13746	12/07/2006

Sin embargo, de acuerdo al registro de la estación Rucalhue, la que presenta mayor longitud de información de las 4 (1937-2008), el caudal registrado de mayor magnitud ocurrió el día 28 de mayo de 1972, con un valor de 6492 m³/s, siendo el de 11 de julio del 2006, el que lo sigue en magnitud. Considerando los caudales de ambas fechas y los eventos asociados a la última, se puede establecer que para valores observados sobre los 5000 m³/s en la estación Rucalhue, se está frente a una crecida de gran magnitud y daños asociados a lo largo del todo el cauce del río Biobio.

Los caudales medios diarios asociados a las fechas entregadas por la DGA de la VIII región se indican en el cuadro N°-7.

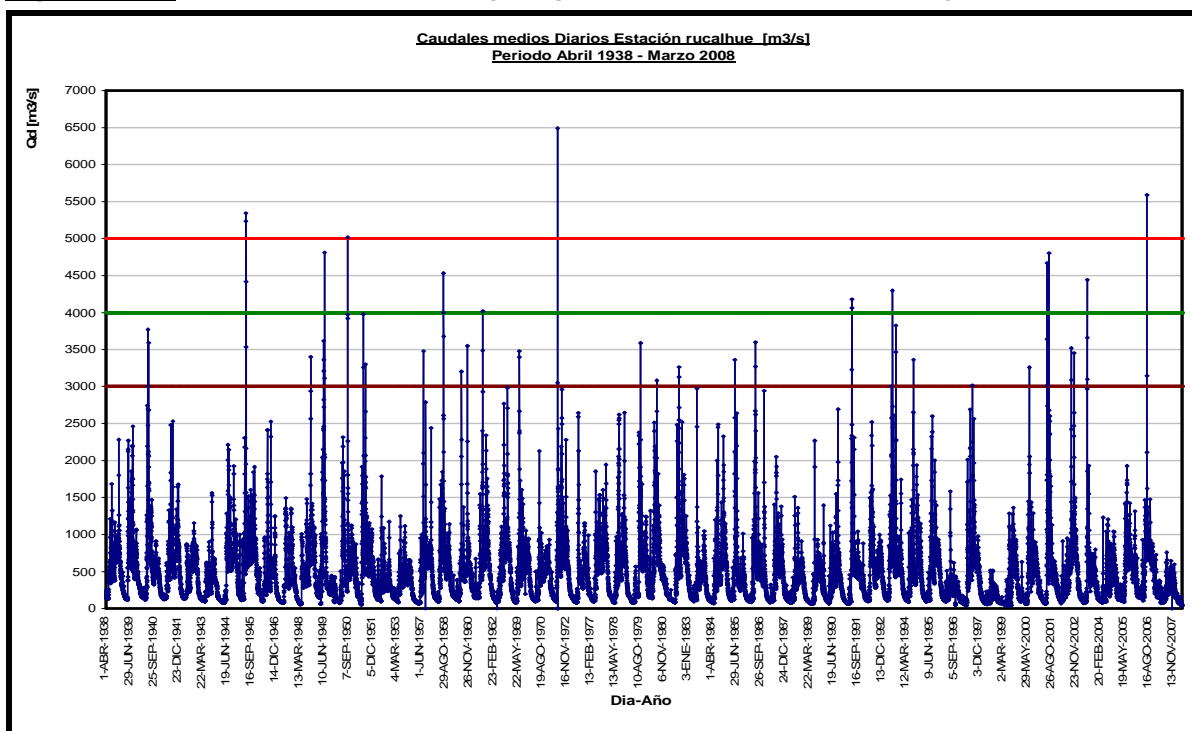
Cuadro N°-7: Caudales Medios Diarios, Tormentas Varias

Estación	Caudal [m ³ /s]	Día
Rio Bio Bio en Rucalhue	2693	10 / Sept. /1990
Rio Bio Bio en Desembocadura	5088	11 / Sept /1990
Rio Bio Bio en Rucalhue	4179	28/ Mayo / 1991
Rio Bio Bio en Desembocadura	11428	29 / Mayo / 1991
Rio Bio Bio en Rucalhue	2337	31 / Mayo / 1992
Rio Bio Bio en Rucalhue	3260	30 / Junio / 2000
Rio Bio Bio en Rucalhue	4803	03 / Julio /2001
Rio Bio Bio en Rucalhue	1569	27 / Junio / 2005
Rio Bio Bio en Desembocadura	7720	28 / Junio / 2005

Al revisar las magnitudes de caudales asociadas a las diferentes fechas y estaciones, se infirieron ciertos criterios, si se observa con detención tanto en los valores como en la ubicación de las estaciones Rucalhue y Desembocadura, un evento de crecida en esta ultima no esta ligado necesariamente con una crecida en la primera, ejemplo de ello es el caso del 28 de junio del 2005, al considerar una aproximación del caudal en Rucalhue en función de lo observado en Desembocadura por transposición de áreas, se obtendría un caudal del orden de los 2162 m³/s, sin embargo el observado es de 1569 m³/s, si bien es un valor aproximado por rendimiento especifico, estas diferencias obedecerían más significativamente a las variaciones de alturas de ambas estaciones, en consecuencia a la variación meteorológica asociada y a los aportes de otros ríos tributarios a la ciudad de Concepción como el Andalién que no afectan la cuenca media ni alta del Rio Biobio. Lo que no ocurre en sentido inverso, es decir una tormenta en la parte alta y media de la cuenca, si tiene relación directa con el aumento de los caudales en desembocadura, como se aprecia en los días 28 - 29 de mayo de 1991 y 11-12 de julio del 2006.

En la figura N° 6 se indica una grafica de los caudales medios diarios registrados desde el año 1938 al año 2008 en la estación Rucalhue, donde se pueden observar claramente algunos eventos extremos.

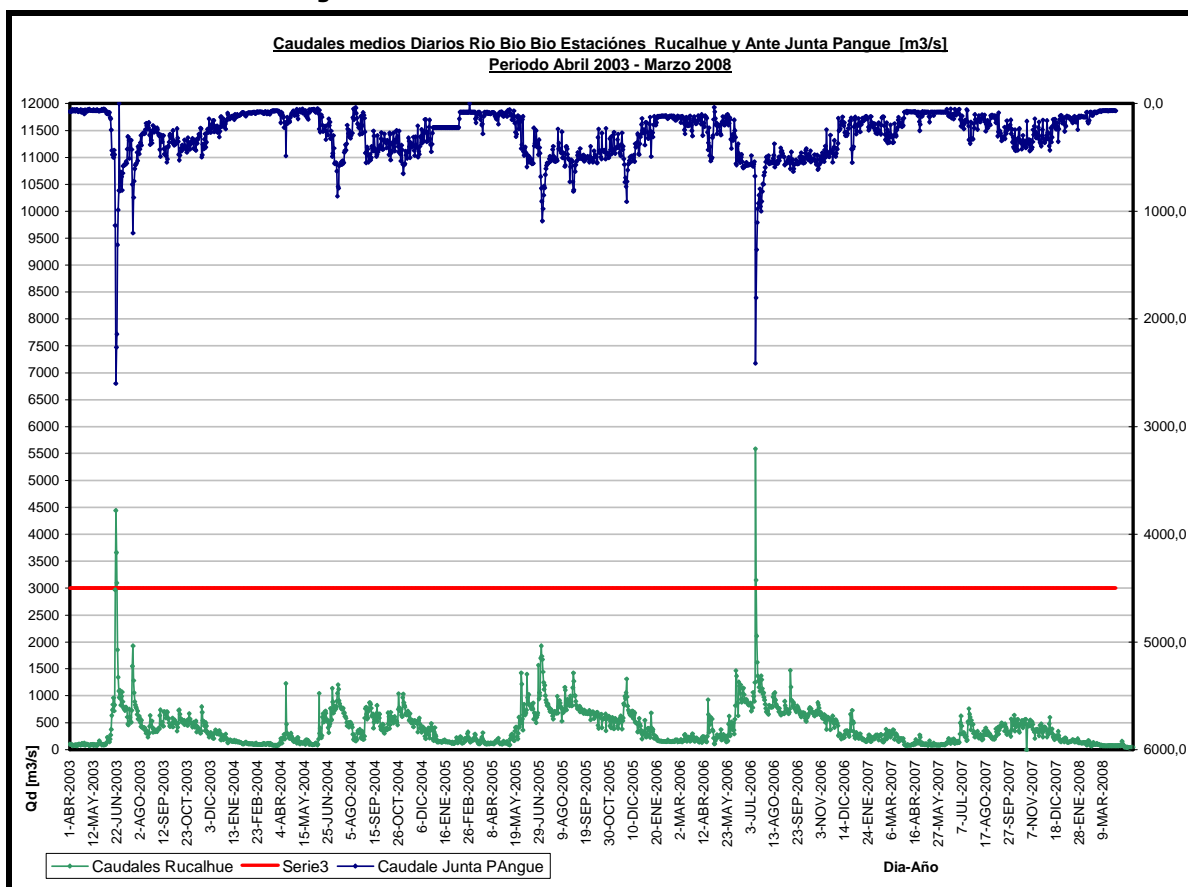
Figura N°-6: Caudales Medios Diarios (m³/s), Estación Rucalhue. Periodo Registro 1938 - 2008



Se definieron tres bandas, que se encuentran señaladas por colores en el gráfico anterior, estas corresponden a los 5000, 4000 y 3000 m³/s respectivamente, esto con el objetivo de clasificar las crecidas en base a esta magnitudes y asociarle con posterioridad una probabilidad de excedencia. De acuerdo a la información analizada se tiene claro que para valores observados sobre los 3000 m³/s en esta estación, se presentan problemas a lo largo del cauce, creciendo en magnitud directamente con el caudal.

Como el objeto del presente análisis busca establecer el caudal umbral en el Embalse Ralco, resultó fundamental comparar los valores registrados en la estaciones de la parte alta de la cuenca con los de la estación Rucalhue, se contaba en este sector con la estaciones: Ante Junta Pangué, aguas abajo y muy cerca del embalse Pangué, por lo que sus valores observados básicamente coinciden con los caudales a la salida del mismo, y la estación Pangué en Captación, que tributa al Biobío inmediatamente aguas abajo de la estación Junta Pangué e incrementa los caudales observados en ella. Aguas arriba de Pangué, aproximadamente 9.2 km aguas abajo de la cortina de Ralco, se encuentra la estación Río Biobío antes de junta Huirí huirí, la que ubicada unos metros aguas abajo de la descarga de la central Ralco, permite medir adecuadamente los caudales de generación y del río, caracterizando fielmente al embalse Ralco. En la figura N°-7, se comparan los valores observados en Junta Pangué con Rucalhue apreciándose coincidencia entre las fechas de valores extremos de crecidas.

Figura N°-7: Caudales Medios Diarios (m³/s), estación Rucalhue v/s Ante Junta Pangué. Periodo Registro 2003 - 2008



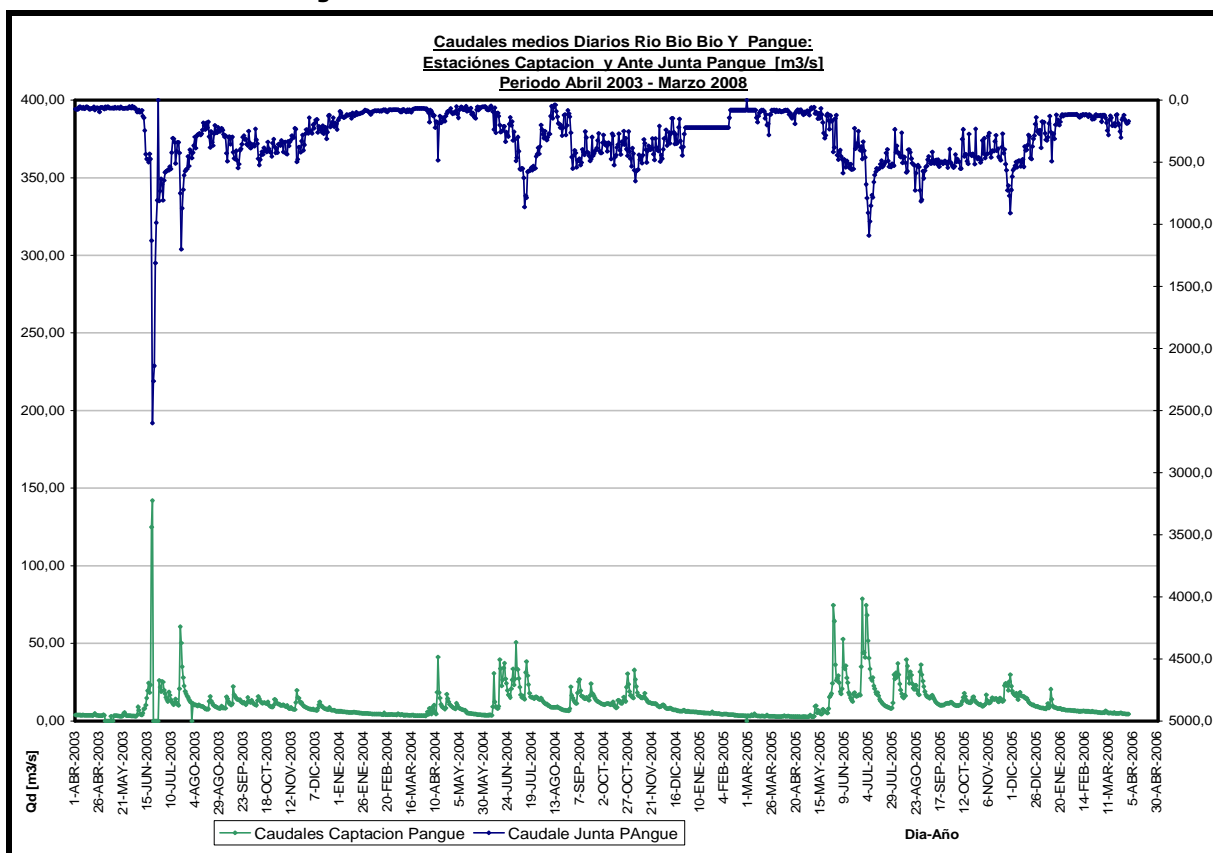
En el cuadro N°-8, se comparan los caudales observados en Junta Pangué con los de Rucalhue en los eventos asociados a Junio del 2003 y Julio del 2006, con el objeto de valorizar la magnitudes asociadas a la salida del embalse Pangué, para los eventos extremos aguas abajo de este.

Cuadro N°-8: Caudales Medios Diarios, junta Pangué v/s Rucalhue.

Fecha	Est. Junta Pangué	Est. Rucalhue
20-JUN-2003	2600	4442
21-JUN-2003	2263	3660
22-JUN-2003	2141	3098
11-JUL-2006	2412	5589
12-JUL-2006	1804	3146

Se compararon los valores extremos observados en las estaciones Captación con los de Junta Pangué, de ello se concluyo que el aporte de la primera en las crecidas es marginal, con diferencias de un orden de magnitud, y a su vez no existe gran coincidencia de comportamiento entre ambas, figura N°-8.

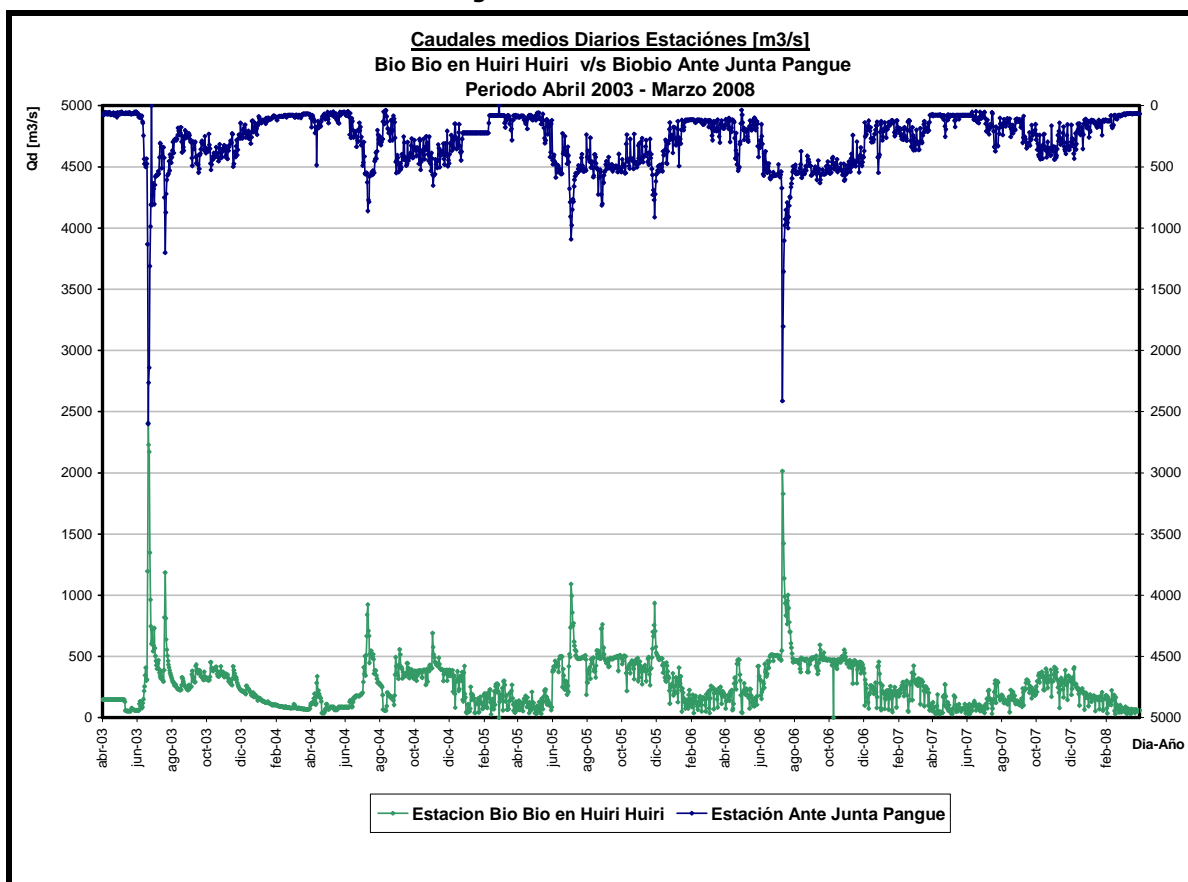
Figura N°-8: Caudales Medios Diarios (m³/s), Estación Captación v/s Junta Pangué. Periodo Registro 2003 – Marzo 2006.



Al realizar un análisis comparativo de caudales para eventos extremos registrados, presentado en el cuadro n°-8, se concluye que para caudales superiores a 2000 m³/s a la salida de Pangue, se presentan caudales superiores a los 3000 m³/s en Rucalhue, y como se planteo anteriormente, a partir de caudales medios diarios de esta magnitud en Rucalhue, se comienzan a presentar problemas en los sectores ribereños. Considerando lo anterior se concluye que para Pangue se debe fijar un caudal crítico que se encuentre dentro del orden de los 2000 a 2500 m³/s.

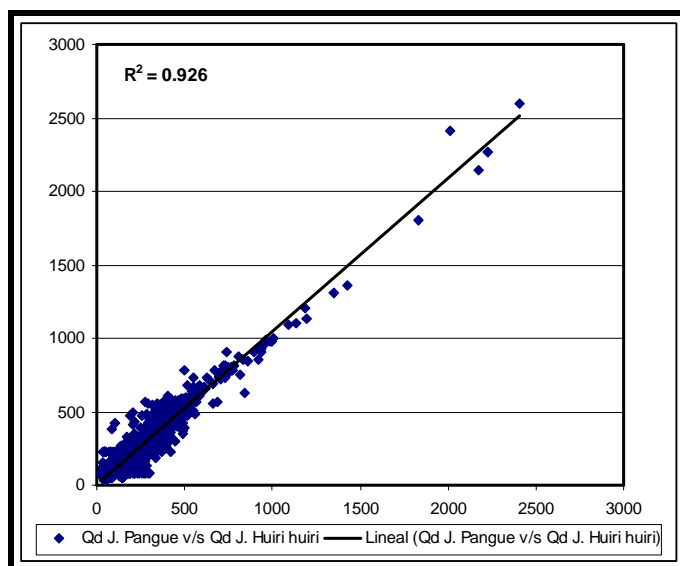
Como el embalse de control corresponde a Ralco, se hace necesario estimar su caudal umbral, considerando el caudal crítico fijado en Pangue, así a partir del análisis comparativo de los valores registrados en la estación Biobío Ante Junta Pangue y Biobío Ante Junta Huirihuiri, se puede estimar el caudal umbral de Ralco. La figura N°-9 presenta los caudales medios diarios registrados en ambas estaciones para el periodo abril 2003 a marzo 2008.

**Figura N°-9: Caudales Medios Diarios (m³/s), Estación Huirihuiri v/s Junta Pangue
Periodo Registro: Abril 2003 – Marzo 2006.**



Tras una inspección de los caudales de ambas estaciones, (Figura N°-9), se aprecia que la estación Ante Junta Pangue sigue un comportamiento muy similar a la de Ante Junta Huirihuirihuiri, aunque con valores mayorados, de echo el factor de correlación entre ambas estaciones es de 0.92, como se indica en la figura N°-10, lo que confirma la relación de sus caudales. Este comportamiento se explica por el echo que el embalse Pangue opera a niveles constantes la mayor parte del tiempo, es decir, básicamente se comporta como una piscina nivelada que deja pasar la onda afluente, que en este caso corresponde al efluente de Ralco, así el hidrograma de salida de Ralco es básicamente el mismo a la salida de Pangue, en algunos casos más un pequeño aporte de la cuenca intermedia o en otros, valores menores, ya que una parte se utiliza para mantener el nivel del embalse (Cuadro N°-9).

Figura N°-10: Correlación Caudales Medios Diarios (m³/s), estación Huirihuirihuiri v/s Junta Pangue.



Cuadro N°-9: Caudales Medios Diarios, Valores de eventos extremos.

Fecha	Est. Junta Huirihuirihuiri	Est. Junta Pangue	Est. Rucalhue
20-JUN-2003	2407	2600	4442
21-JUN-2003	2229	2263	3660
22-JUN-2003	2173	2141	3098
11-JUL-2006	2015	2412	5589
12-JUL-2006	1829	1804	3146

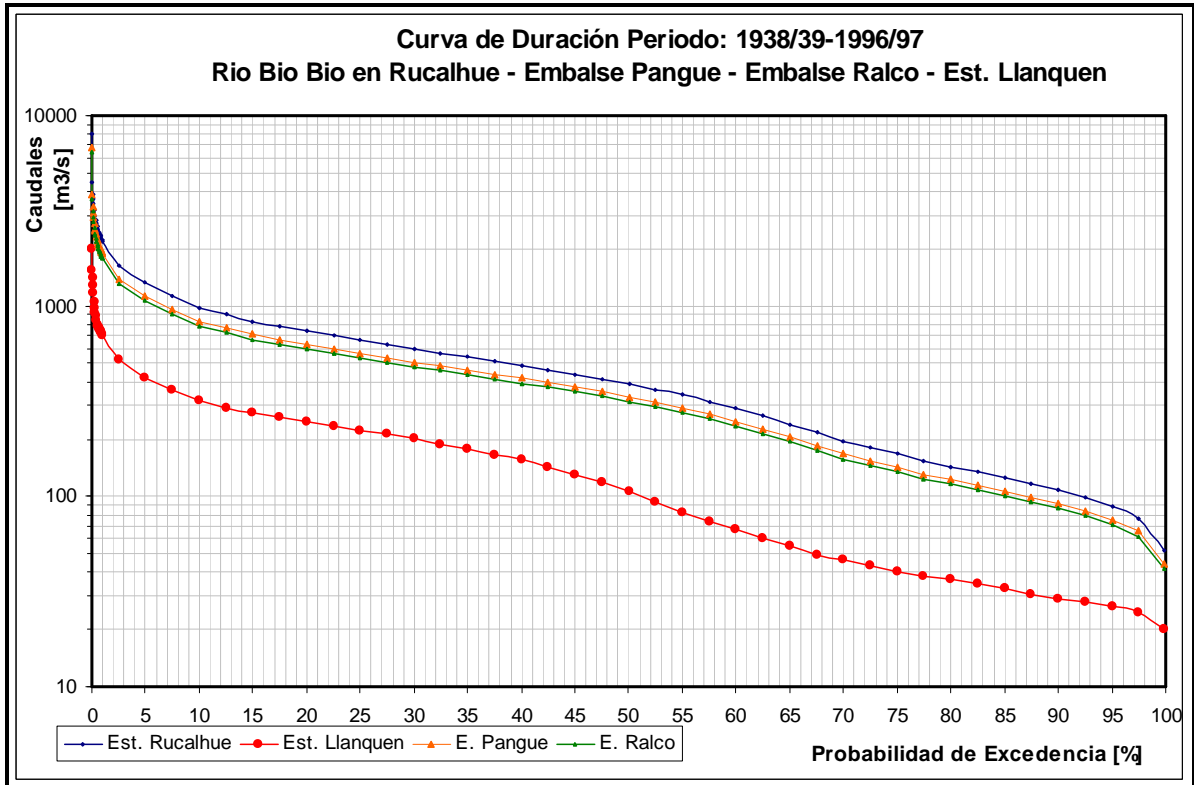
Finalmente si consideramos que el área aportante a Ralco es de 5400 km² y en el caso de Pangue es de 5710 km², se tiene una razón de áreas de 0.94, así si en Pangue el Caudal umbral corresponde a 2000 m³/s, en Ralco, aplicando el factor de rendimiento específico, el caudal umbral corresponde a 1880 m³/s.

3.2- Curvas de Duración.

A partir de los registros de caudales medios diarios, se procedió a construir las curvas de duración para las estaciones mencionadas.

Figura N°-9:

Curvas de Duración Estaciones: Rucalhue, E. Pangué, E. Ralco y Est. Llanquén. Periodo Registro 1938/39 - 1996/97



Cuadro N°-9: Estaciones: Rucalhue, E. Pangué, E. Ralco.. Periodo Registro 1938/39 - 1996/97, Caudales v/s Probabilidad de excedencia

P. Exed	Q.Rucal.	E. Pangué	E. Ralco	P. Exed	Q.Rucal.	E. Pangué	E. Ralco
0.00	8000.00	6828.10	6457.40	2.00	1773.66	1513.84	1431.65
0.20	3424.74	2923.06	2764.37	4.00	1408.19	1201.91	1136.66
0.40	2808.13	2396.78	2266.65	6.00	1244.91	1062.55	1004.86
0.60	2480.52	2117.16	2002.22	8.00	1081.63	923.18	873.06
0.65	2444.98	2086.82	1973.52	10.00	971.66	829.32	784.30
0.70	2409.43	2056.48	1944.83	20.00	740.27	631.83	597.53
0.75	2373.88	2026.14	1916.14	40.00	488.00	416.51	393.90
<u>0.80</u>	<u>2338.34</u>	<u>1995.80</u>	<u>1887.45</u>	60.00	290.95	248.33	234.85
0.85	2302.79	1965.46	1858.75	80.00	143.19	122.22	115.58
0.90	2267.24	1935.12	1830.06	90.00	107.30	91.58	86.61
<u>0.95</u>	<u>2231.70</u>	<u>1904.78</u>	<u>1801.37</u>	95.00	88.25	75.32	71.23
1.00	2196.15	1874.44	1772.68	99.95	50.36	42.98	40.65

Se disponía además de los caudales máximos instantáneos en el periodo 1970 – 2009, en la estación Rucalhue, por lo que se procedió con el análisis de esta información a través de Weibull y un análisis de frecuencia, obteniéndose que la distribución Log Normal era la que mejor ajustaba los valores extremos en el periodo de valides considerado, correspondiente a la situación sin embalse, años 1970-1997. Los resultados se muestran en el cuadro n°-10, en el se indican las probabilidades de excedencia obtenidas en Rucalhue a partir de la serie de máximos anuales y los caudales equivalentes en Pangue y Ralco, obtenidos a través del factor de rendimiento específico, indicados en el cuadro n°-11.

Cuadro N°-10: Estación Rucalhue , E. Pangue, E. Ralco.. Periodo de registro 1970/71 – 1996/97, Caudales máximos instantáneos v/s Probabilidad de excedencia

P.Exed [%]	Tr [años]	Estacion Rucalhue		Por Rendimiento Especifico	
		Weibull	A. Frec (LN)	E. Pangue	E. Ralco
0.10	1000.0	-	10353.23	8836.61	8356.86
0.20	500.0	-	10160.40	8672.03	8201.22
0.40	250.0	-	9475.33	8087.31	7648.25
0.50	200.0	-	8833.36	7539.39	7130.07
0.67	150.0	-	8487.53	7244.22	6850.92
0.80	125.0	-	8210.87	7008.08	6627.61
0.83	120.0	-	8141.70	6949.05	6571.78
0.91	110.0	-	7984.51	6814.88	6444.89
1.00	100.0	-	7795.87	6653.87	6292.63
2.00	50.0	-	7201.67	6146.72	5813.01
2.86	35.0	7893.82	6844.24	5841.65	5524.50
3.33	30.0	7489.43	6677.56	5699.38	5389.96
4.00	25.0	6923.28	6463.33	5516.53	5217.04
5.00	20.0	6074.07	6201.81	5293.32	5005.95
6.67	15.0	5388.40	5853.98	4996.44	4725.18
10.00	10.0	5071.18	5335.11	4553.59	4306.37
20.00	5.0	4253.64	4400.00	3755.46	3551.57
25.00	4.0	4076.00	4082.88	3484.79	3295.60
33.33	3.0	3599.41	3703.71	3161.16	2989.54
40.00	2.5	3495.45	3414.43	2914.26	2756.04
50.00	2.0	3339.56	3040.68	2595.26	2454.36
66.67	1.5	2888.00	2496.43	2130.74	2015.06
97.90	1.0	-	1195.76	1020.60	965.19

Cuadro N°-11: Factores de rendimiento específico.

Estación	Área Tributaria Km2	Factor de Rendimiento Especifico
Rucalhue	6690	1.00
E.Pangue	5710	0.85
E.Ralco	5400	0.81

4- CONCLUSIONES.

En primer termino, dada la posición del sistema de embalses Ralco-Pangue en la parte alta de la cuenca del río Biobío, este corresponde a un sistema de cabecera, por lo general estos tipos de embalse no son influyentes en la parte baja de la cuenca del río donde se ubican, lo que no es una excepción en el presente caso, sin embargo, dada su capacidad de almacenamiento y la magnitud de la cuenca controlada, 5710 km², presenta gran influencia en la parte media y en la parte alta inmediatamente aguas abajo de Pangue, sectores donde se encuentran diferentes asentamientos urbanos afectados a las crecidas del cauce del Biobío, de allí la importancia de realizar una operación adecuada del sistema.

En síntesis dada la superficie de la cuenca controlada, la posición relativa del sistema en el cauce y la presencia de asentamientos urbanos afectados a crecidas, el sistema Ralco-Pangue corresponde a un sistema de control de crecidas, ya que a su vez dispone de mecanismos de vertido de los embalses, los que permiten regular una crecida según los criterios que se impongan para dicho objetivo. En particular el Embalse de Control del sistema corresponde a Ralco, ya que controla 5400 km² del total de la superficie aportante al sistema.

El embalse Ralco se caracteriza por tener una cota de operación normal máxima de 725 msnm, la que le permite tener una capacidad de regulación de 764.1 millones de metros cúbicos hasta la cota 692 msnm, que corresponde a la cota límite por sobre la cual se dispone la capacidad de verter. Este volumen de regulación es suficiente para retener la esorrentía de una precipitación de aproximadamente 213 mm sobre su cuenca aportante bajo la cota 2000 m, correspondiendo ésta a la precipitación acumulada máxima de 2 días con periodo de retorno de 5 años.

Queda claramente establecido así en función de sus características, la capacidad que dispone Ralco para regular crecidas. Considerando esto se procedió a fijar el **caudal umbral a la salida de Ralco**, dicho valor de acuerdo al análisis realizado y presentados en este informe corresponde a un **caudal de 1800 m³/s**, el que corresponde a un **periodo de retorno inferior a 5 años**.